

СПОСОБ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ БЕЗ ПРИЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Разработана и экспериментально подтверждена новая технология диффузионной сварки в вакууме без приложения внешнего давления для «бронзирования» рабочих поверхностей аксиально-поршневых гидронасосов.

При этом давление, необходимое для обеспечения диффузионной сварки, формируется за счет разности термического расширения бронзы и стали в процессе нагрева и выдержки при 750 °С, 30 минут.

Таким образом для случаев, когда бронзирование методами литья, наплавки, диффузионного напыления затруднительно, а использование классических способов диффузионной сварки не представляется возможным (не удастся приложить внешнее механическое давление), предложенный способ диффузионной сварки эффективен.

Ключевые слова: Диффузионная сварка, вакуумный отжиг, термическое расширение, бронзирование.

B. A. Potekhin, A. S. Khristolyubov

THE METHOD OF DIFFUSION BONDING IN A VACUUM WITHOUT THE APPLICATION OF EXTERNAL PRESSURE

Developed and experimentally confirmed a new technology of diffusion bonding in a vacuum without the application of external pressure for "bronzing" Surface axial piston pumps.

Thus the pressure necessary for diffusion bonding is generated by the difference of thermal expansion of bronze and steel during heating and soaking at 750 ° C for 30 minutes.

Thus, in cases where bronzing molding, welding, diffusion deposition difficult and the use of classical methods of diffusion bonding is not possible (can not attach an external mechanical pressure), the proposed method of diffusion bonding is effective.

Keywords: diffusion bonding, vacuum annealing, thermal expansion, bronzing.

В данном исследовании рассмотрена, обоснована и предложена новая технология диффузионной сварки в вакууме для модернизации аксиально-поршневых гидронасосов. На ОАО «Пневмостроймашина» корпуса этих

насосов с 1967 года изготавливались из латуни марки Л62, имеющей низкую прочность и не является удовлетворительным антифрикционным материалом. По этой причине нет возможностей повышать давление в данных системах, уменьшать габариты гидронасосов, а это важнейшие параметры.

Ввиду параметрических особенностей корпуса гидронасоса (см. рис. 1) не представляется возможным «бронзировать» такой канал способами литья, наплавки или напыления.

В связи с вышеизложенным мы предложили технологический процесс «бронзирования» (БрО12) внутренних отверстий корпуса (см. рис. 1) включающий: дорнование бронзовой втулки, установленной в отверстие корпуса, и последующую диффузионную сварку в вакууме, полагая при этом, что внешнее давление, необходимое при диффузионной сварке, должно быть обеспечено разностью коэффициентов термического расширения бронзы и стали (18ХГТ, сталь 20) [1-2].

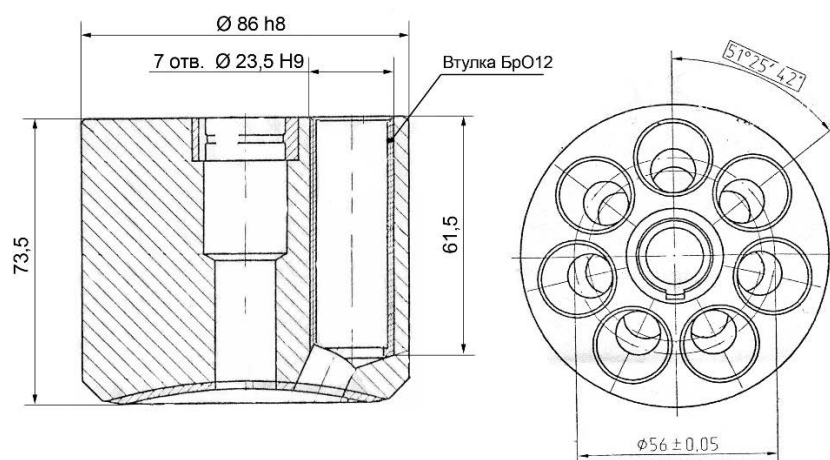


Рис. 1. Корпус аксиально-поршневого гидронасоса

Наши расчеты, применительно к конкретному корпусу (рис. 1) показали, что нормальное давление на свариваемой поверхности с повышением температуры до 750 °С может достигать 107 Мпа или быть равным пределу упругости при соответствующих температурах.

При отработке метода диффузионной сварки, с целью получения высокоадгезионного соединения, мы использовали образцы – корпуса из стали 20 вместо стали 18ХГТ (из которой в дальнейшем изготавливались опытные корпуса

гидронасосов), полагая, что принципиального значения, в нашем случае, это не имеет, а втулки-вставки изготавливали из бронзы БрО12 (см. рис. 2).

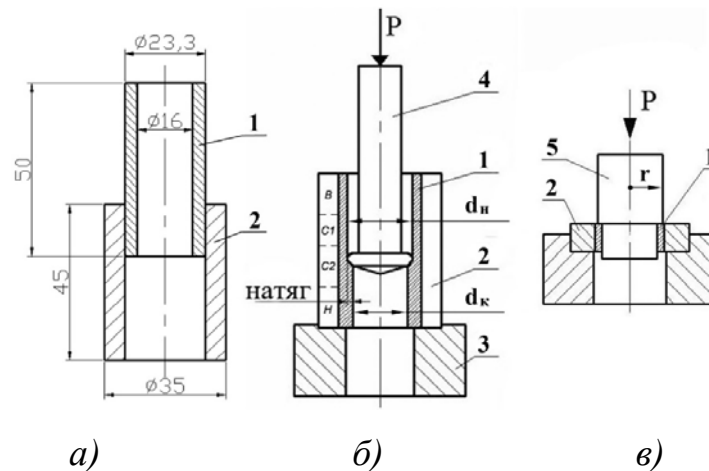


Рис. 2. Схема определения адгезионной прочности сварного соединения БрО12 – сталь 20:
а) бронзовая втулка – 1, стальной корпус – 2; б) основание – 3, дорн – 4; в) выпрессовка кольца – 1 приваренной бронзы пуансоном – 5

В бронзах БрО10, БрО12 мы наблюдали в литом состоянии интерметаллиды (δ фаза) (см. рис. 3, а, б), являющимися хрупкими во всем температурном диапазоне их существования [3; 4]. Интерметаллиды охрупчивают бронзу поэтому для обеспечения лучшей деформируемости при дорновании бронзовых втулок был выполнен отжиг литой бронзы при 500 °С, 30 минут, который частично растворяет фазу δ , но дендритное строение сохраняется (рис. 3, в), что должно улучшить деформируемость такой бронзы, в то время как отжиг при 750 °С, 30 минут переводит бронзу в однофазное состояние [4]. Однако, согласно диаграмме Cu-Sn [3] при медленном охлаждении после нагрева до 750 °С часть олова, в нашем случае, до 4,5 % выделяется в виде дисперсных частиц типа Cu_3Sn .

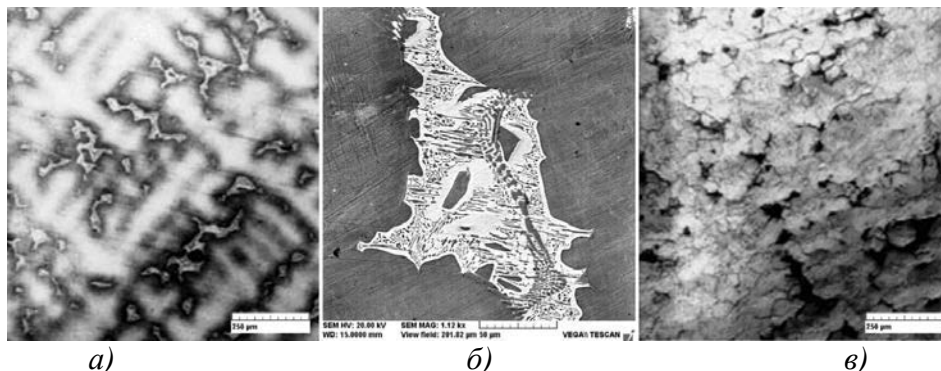


Рис. 3. Структура литой бронзы БрО12 (а), интерметаллид Cu_3Sn (б), БрО12 после отжига 500 °С, 30 мин (в)

Далее осуществляли селективный подбор втулок и «корпусов», так чтобы зазор между бронзовой втулкой 1 и корпусом 2 (см. рис. 2, а) обеспечивал скользящую посадку. При этом исследовали влияние шероховатости внутренней поверхности корпуса, а так же влияние полной и неполной резьбы, нанесенной на втулку которая ввинчивалась в соответствующий стальной корпус, после чего проводили дорнование с натягом 0,25; 0,50 и 0,75 мм, который определялся как полуразность начального (d_H) и конечного (d_K) после дорнования внутренних диаметров бронзовой втулки (рис. 2, б). После дорнования с заданным натягом, проводили диффузионную сварку бронзовой втулки со стальным корпусом в вакуумной печи модели СШВЭ – 1.2,5/25И2 при температуре 750 °С в течение 30 минут при вакууме не ниже 10–5 мм рт. ст.

Далее каждую втулку разрезали на 4 равные части и верхнюю часть В, среднюю часть C_1 , C_2 и нижнюю часть Н (см. рис. 2, б) и определяли адгезионную прочность соединения сталь – бронза путем выпрессовки бронзовой втулки из корпуса с записью диаграммы Р (усилие) – сдвиг, мм втулки относительно корпуса (рис. 2, в). Показатели адгезионной прочности определяли как результат деления максимального усилия «выпрессовки» на «площадь» поверхности сварки ($\tau_{сдв} = P_{max}/2\pi rh$, МПа).

При увеличении шероховатости сопрягаемых поверхностей с 2,2 до 5,5 НRa при натяге 0,5 мм адгезионная прочность растет с 12 до 30 Мпа соответственно. Это обусловлено тем, что площадь контакта возрастает, в соответствующих образцах, пропорционально показателю Ra.

Для зоны соединения, полученного дорнованием с натягом 0,75 мм, характерна зубчатость (см. рис. 4, а). Причиной ее формирования, по-нашему мнению, является структурное состояние стали 20, а именно, эта сталь содержит 80% зерен феррита ($HV^{50} \leq 100$ ед.) и 20% зерен перлита ($HV^{50} \geq 200$ ед.). Это приводит к тому, что в процессе дорнования деформируется не только бронза, но и сталь и в первую очередь, ее мягкая ферритная составляющая. Наблюдаемый микрорельеф зоны соединения благоприятен с точки зрения адгезионной прочности.

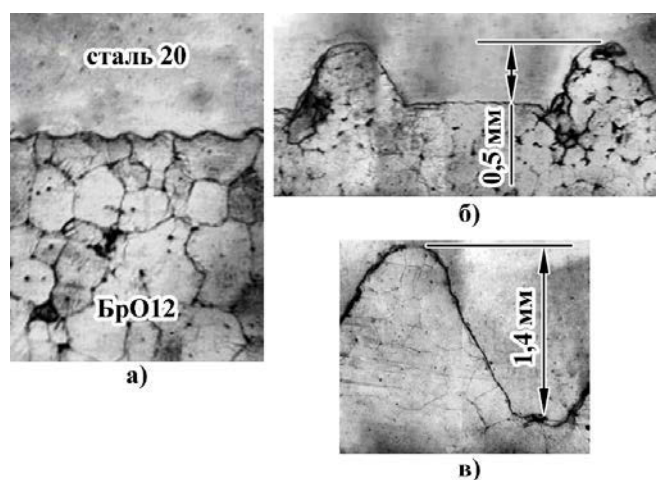


Рис. 4. Строение сварных соединений после дорнования гладких поверхностей (а), поверхностей с неполной (б) и полной резьбой (в)

Далее было оценено влияние резьбы М24, нанесенной на стальную втулку и корпус (рис. 4, б, в), на адгезионную прочность сварных соединений в зависимости от параметров резьбы, величины натяга, предварительного отжига бронзовой втулки перед дорнованием. Результаты представлены в таблице 1.

При сварке гладких поверхностей $\tau_{сдв}$ сильно зависит от натяга и только натяг $\geq 0,75$ мм обеспечивает высокую адгезионную прочность. Резьбовые соединения вполне допускают натяг 0,25 мм.

Более подробно, механизмы и факторы, влияющие на формирования показателей адгезионной прочности рассмотрены нами в работах [5–7].

Таблица 1

Влияние натяга при дорновании, параметров резьбы М24: полная $h = 1,4$ мм; неполная $h = 0,5$ мм (рис. 4, б, в) и отжига втулки БрО12 на адгезионную прочность сварного соединения

Термическая обработка	Н, мм	$\tau_{сдв}$, МПа		
		без резьбы	неполная резьба	полная резьба
отливка без ТО	0,25	30	88	145
	0,50	-	65	173
	0,75	208	177	208
отжиг, 500 °С, 30 мин	0,25	179	92	166
	0,50	235	142	188
	0,75	221	156	188

Таким образом, в данном исследовании обоснована экспериментально подтверждена новая технология диффузионной сварки в вакууме без

приложения внешнего давления для «бронзирования» рабочих поверхностей аксиально-поршневых гидронасосов, которая включает дорнование бронзовой втулки, установленной в рабочие каналы с натягом 0,75 мм и последующий вакуумный диффузионный отжиг (диффузионная сварка) при 750 °С в течении 30 минут.

При этом давление, необходимое для обеспечения диффузионной сварки, формируется за счет разности термического расширения бронзы и стали в процессе нагрева и выдержки при 750 °С, 30 минут [7].

Данная разработка позволила создать рациональную технологию бронзирования внутренних отверстий корпуса типа 310.4.56.260 СБ для ОАО «Пневмостроймашина», г. Екатеринбург с особо высокой адгезионной прочностью соединения сталь – бронза ($\tau_{сдв} \geq 180$ МПа).

Таким образом для случаев, когда «бронзирование» методами литья, наплавки, диффузионного напыления затруднительно, а использование классических способов диффузионной сварки не представляется возможным (не удастся приложить внешнее механическое давление), предложенный способ диффузионной сварки эффективен.

Список литературы

1. Зубченко А. С. Марочник сталей : изд. 2-е пераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 783 с.
2. ГОСТ 613–79 (ИСО 4383–91). Бронзы оловянные литейные. Марки. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 5 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник: в 3-х т. Т. 2 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1997. – 1024 с.
4. Лифшиц Б. Г. Металлография : изд. 2-е. – М. : Металлургия, 1971. – 405 с.
5. Технология изготовления подшипников скольжения диффузионной сваркой / Б. А. Потехин [и др.] // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – № 4. – 2006. – С. 33–35.
6. Потехин Б. А., Измайлов Д. К. Особенности диффузионной сварки в вакууме без приложения внешнего давления // Сварочное производство. – 2008. – № 2. – С. 8–13.
7. Способ диффузионной сварки в вакууме без приложения внешнего давления : патент № 2549786 RU, МПК В23К20/14 / Потехин Б. А., Христолюбов А. С., Измайлов Д. К. (RU). – 2013137957/02; Заявл. 13.08.2013; Оpubл. 27.04.2015. Бюл. № 12.